

Ultraschallmessung - eine neue Art der Überwachung von Papiermaschinen

Gunnar Lindblad, Produktmanager für AUTOLINE® - TSO® - ISOTUNER®,
AB Lorentzen & Wettre, Kista, Schweden.

Zusammenfassung

Bislang wurden Papiermaschinen hauptsächlich auf der Grundlage von Informationen gesteuert, die durch Online-Dicken-, -Flächenmassen- und -Feuchtigkeitsmessung gewonnen wurden. Jetzt eröffnet die Ultraschallmessung, die zur Zeit allerdings nur offline eingesetzt werden kann, neue Möglichkeiten.

Die Ultraschall- oder TSO-Messung, wie Lorentzen & Wettre diese Art der Messung nennt, ist schon seit einigen Jahren auf dem Markt. TSO ist die englische Abkürzung für Zugsteifigkeitsausrichtung und ein Maß für die Elastizitätseigenschaften von Papier, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Laufverhalten in der Papiermaschine und in den nachgeschalteten Weiterverarbeitungsanlagen stehen.

Das Meßverfahren ist einfach. Es wird ein Querprofil direkt aus dem Maschinentambour der Papiermaschine geschnitten. Es wird ein Querprofil durch das TSO-Meßgerät geführt, und es werden die vier Haupteigenschaften ausgegeben.

Der TSO-Winkel gibt an, wie gut der Stoffauflauf eingestellt ist.

Der TSI-Wert in Maschinenrichtung gibt an, wie gut die Pressenpartie eingestellt ist.

Der TSO-Wert in Querrichtung liefert Informationen darüber, wie gut die Trockenpartie abgestimmt und wie die Refinermahlung eingestellt ist.

Das TSI-Maschinen-/Querrichtungsverhältnis liefert Informationen darüber, wie die Blattfestigkeitsverhältnisse eingestellt sind.

Die verschiedenen Eigenschaften werden als Profile dargestellt und können direkt mit den drei Haupteigenschaften des Online-Systems verglichen werden. Aus der Erfahrung kennen wir die Grenzwerte für die verschiedenen Eigenschaften, die für optimales Laufverhalten in der Papiermaschine sorgen und die kleinstmögliche Abweichung in der Papierqualität ergeben.

Dieser Artikel beschreibt im Detail die Beziehungen zwischen den verschiedenen Eigenschaften und deren Einsatz zur Erzielung optimaler Ergebnisse.

TSO-Meßgerät

Der L&W TSO-Tester ist eigentlich ein Laborgerät, das zur Prozeßoptimierung und zur Vereinfachung der Qualitätskontrolle verwendet werden kann.

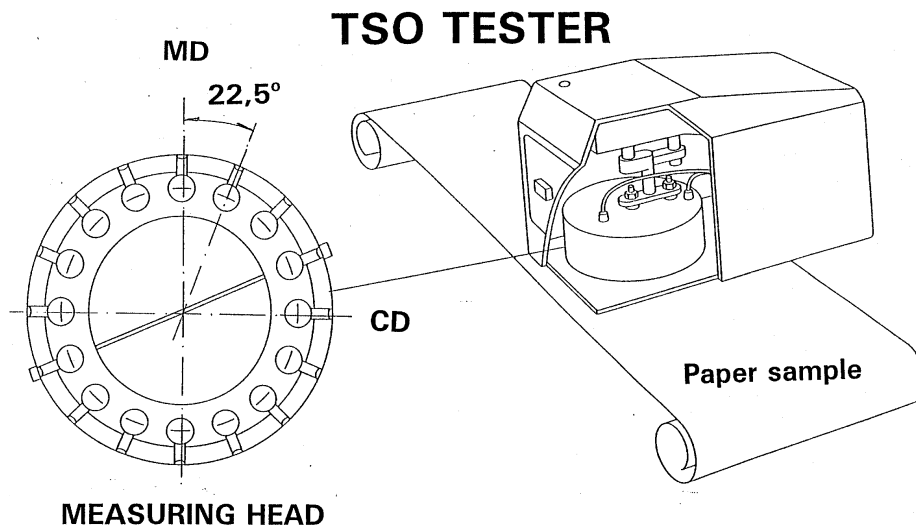


Fig.1

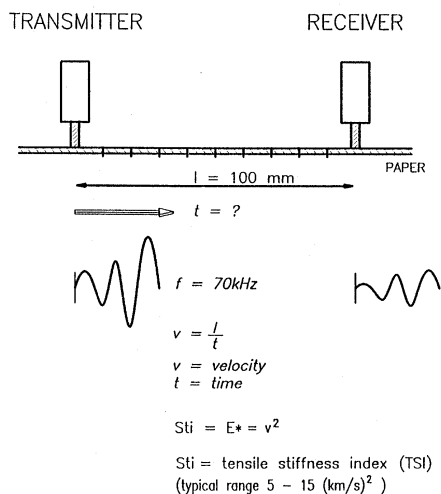


Fig.2

Das Gerät arbeitet nach dem Ultraschallprinzip. Dabei wird ein Ultraschall-Längsimpuls in der Papierebene von einem Sender zu einem Empfänger durch das Papier geschickt. Das Meßgerät ist mit einem Meßkopf ausgestattet, der 8 Sender-Empfänger-Paare enthält, die in einheitlichen Abständen in einem Kreis auf der Ebene angeordnet sind. Die Signale werden so umgewandelt, daß die Elastizität in allen Richtungen im Papier beschrieben wird. Die eigentliche Messung dauert 5 Sekunden pro Meßpunkt, so daß eine komplette Messung bei einer 9 m breiten Papiermaschine 9 Minuten dauert (90 Meßpunkte). Die Ergebnisse werden als Maschinentambourbericht mit Mittelwert, Standardabweichung, Maximalwert und Minimalwert sowie einer grafischen Darstellung der vier Haupteigenschaftenprofile ausgegeben. Dabei handelt es sich um:

- TSO-Winkel - beschreibt den Winkel zwischen der Maschinenrichtung und der TSI max., der Richtung der größten Elastizität.
- TSI in Maschinenrichtung - beschreibt die Elastizität in der Maschinenrichtung.
- TSI in Querrichtung - beschreibt die Elastizität in der Querrichtung.
- TSI in Maschinen-/Querrichtung - beschreibt das Verhältnis zwischen der Maschinen- und der Querrichtung. Dieses Verhältnis ist ein Maß für die Anisotropie, die mit dem

Verhältnis zwischen den klassischen Festigkeitseigenschaften wie Bruchkraft, Biegesteifigkeit, Druckfestigkeit usw. vergleichbar ist.

POLAR ANGLE DIAGRAM

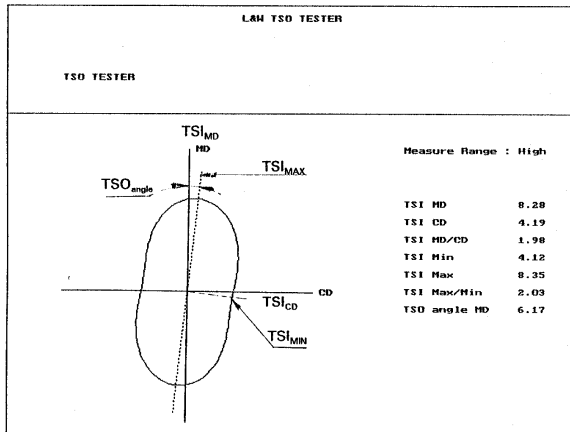


Fig.3

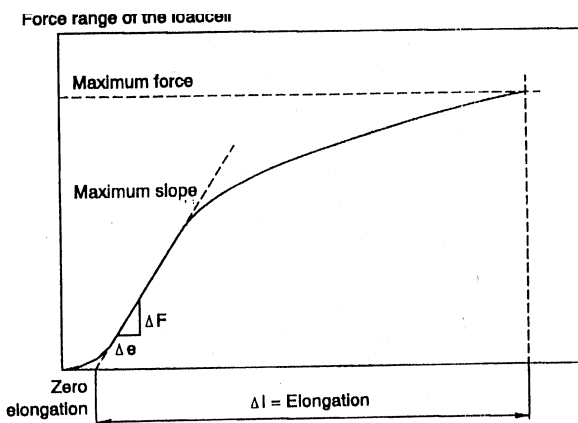


Fig.4

Aufgrund der Erfahrungen aus Fabriken, in denen heute regelmäßig das TSO-Meßgerät zur Prozeßsteuerung eingesetzt wird, verfügen wir über bestimmte Richtwerte, auf die wir zurückgreifen können.

TSO-Winkel

Der TSO-Winkel gibt uns Aufschlüsse darüber, ob das betreffende Papier zu Kräuselung und Verdrehung neigt. Die Kräuselung ist in erster Linie durch die Zweiseitigkeit des Papiers bedingt, während die Verdrehung auf der Elastizitätsausrichtung beruht.

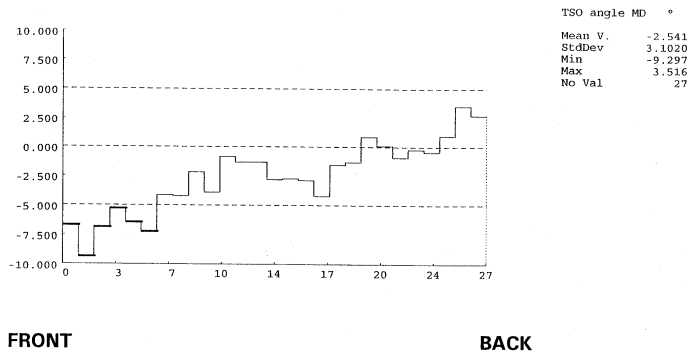


Fig.5

Bei allen Papiersorten, eventuell mit Ausnahme von Sackpapier, sollte der Wert zwischen ± 5 Grad liegen, während der Mittelwert etwa 0 Grad betragen sollte. Ein von 0 abweichender Mittelwert (Toleranz $\pm 0,5$ Grad) zeigt an, daß der Stoffauflauf nicht korrekt abgestimmt ist.

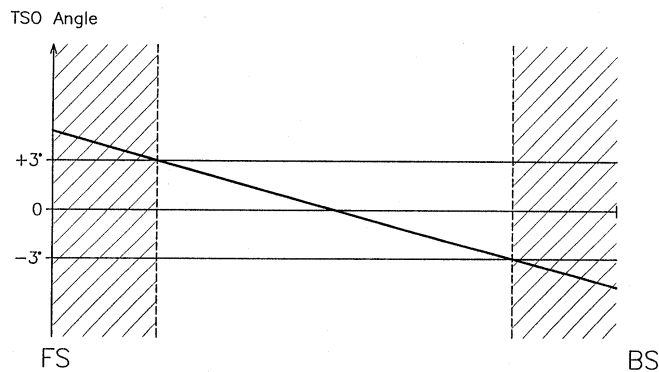


Fig.6

Diese Fehleinstellung kann auf mehreren Ursachen beruhen, die Hauptursache ist jedoch die Falscheinstellung des Umwälzventils. Weitere Faktoren, die bei der korrekten Abstimmung des Stoffauflaufs eine Rolle spielen, sind:

- die Druckverhältnisse im Stoffauflauf
- die Funktion und Sauberkeit der seitlichen Strömungsventile
- Verstopfung im Zulaufsystem zum Stoffauflauf
- Zulaufsystem zum Stoffauflauf
- Siebtisch
- Parallelität von Lippe und eigentlichem Siebtisch

Unsere Kunden haben die Erfahrung gemacht, daß beispielsweise für Kopier- und Laserpapier die Anforderungen strenger sein müssen. Bei fast allen Fabriken, in denen diese Papiersorte hergestellt wird, sind Werte zwischen $\pm 2,5$ und 3 Grad übliche Kriterien. Dadurch erhalten Druckereien, die beispielsweise Nachdrucke von Formularen usw. herstellen, eine ausreichende Sicherheitsspanne, so daß sie teure Prozeßstörungen vermeiden können. Auch werden dadurch Reklamationen von Kopiermaschinen- und Laserdruckerherstellern und -anwendern vermieden.

Diese Kriterien können für Sackpapier nicht pauschal zugrundegelegt werden. Sackpapier wird normalerweise mit einem Anisotropiewert von etwa 1 hergestellt, d.h. die Festigkeitseigenschaften und die Elastizität sind in Maschinen- und Querrichtung gleich. Andererseits haben wir festgestellt, daß es sinnvoll ist, daß Sackpapierhersteller Ihre Stoffaufläufe auch ausgehend von Papier mit leichter Ausrichtung einstellen, bevor der Anisotropiewert des Papiers auf einen Wert in der Nähe von 1 eingestellt wird oder eine Clupack-Einheit angeschlossen wird.

Es sei auch erwähnt, daß die Faserausrichtung und der TSO-Winkel nicht dasselbe sind. Der TSO-Winkel bzw. die Zugsteifigkeitsausrichtung ist eine zusammengesetzte Eigenschaft, bei der eine Komponente die Faserausrichtung ist. Die anderen Komponenten sind inhärente Spannungen und Dehnungen im Papier. Diese Spannungen und Dehnungen werden teilweise von der Pressenpartie und teilweise von der Trockenpartie verursacht. Bei Papier, das gestrichen wird oder nach der eigentlichen Trocknung in irgendeiner anderen Weise einer Benetzung ausgesetzt wird, entstehen zusätzliche inhärente Spannungen und Dehnungen. Bei Papier, das nach der Herstellung befeuchtet wird und das man auf natürliche Weise trocknen läßt, entspricht der Wert für die Faserausrichtung im wesentlichen dem Wert des TSO-Winkels.

In Tests hat sich darüber hinaus gezeigt, daß die Dimensionsstabilität, oder genauer gesagt die Feuchtdehnung und damit auch die Schrumpfung, rechtwinklig zum TSO-Winkel und nicht zur Faserausrichtung steht. Dies ist ein weiterer Grund für die Überwachung des TSO-Winkels bei Papiersorten, bei denen ein einwandfreier Vierfarbendruck ohne Passerprobleme gewünscht wird oder bei denen schiefe Stapel ein Problem sein können.

TSI in Maschinenrichtung

Der TSI-Wert in Maschinenrichtung, d.h. der Zugfestigkeitsindex in Maschinenrichtung, ist eine Eigenschaft, die für viele Probleme mit dem Laufverhalten maßgeblich ist, die heute in Papiermaschinen und den nachgeordneten Weiterverarbeitungsanlagen auftreten.

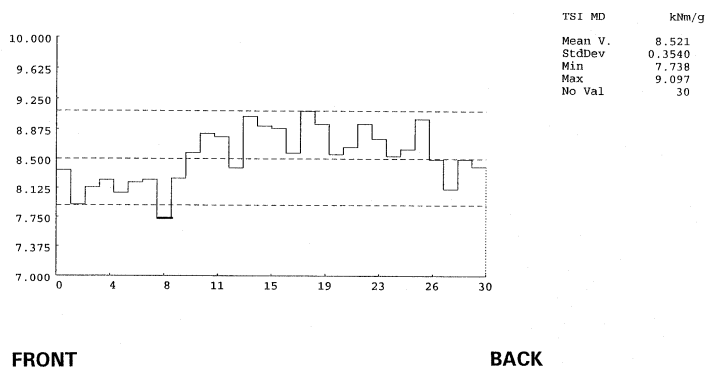


Fig.7

Das Profil muß möglichst eben sein. Dadurch erhalten wir eine einheitliche Elastizität in der gesamten Maschine.

Die zulässigen Schwankungen liegen je nach Papiersorte zwischen 5 und 10 %.

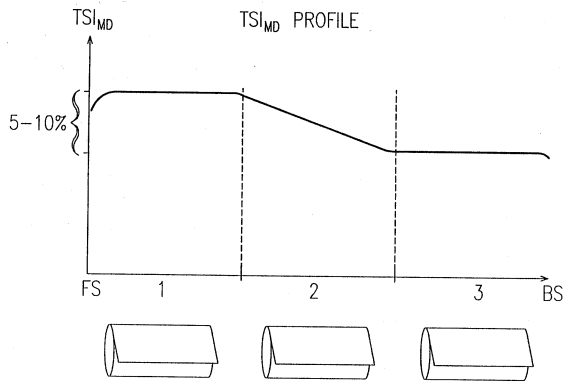


Fig.8

Ein stark ausgerichtetes Papier, wie beispielsweise Zeitungsdruckpapier, sollte mit einer gewissen Schwankung im unteren Bereich liegen, damit lange Kanten, Bahnbruch in der Papiermaschine und in der Druckpresse, Knitterfalten, Rillung usw. vermieden werden.

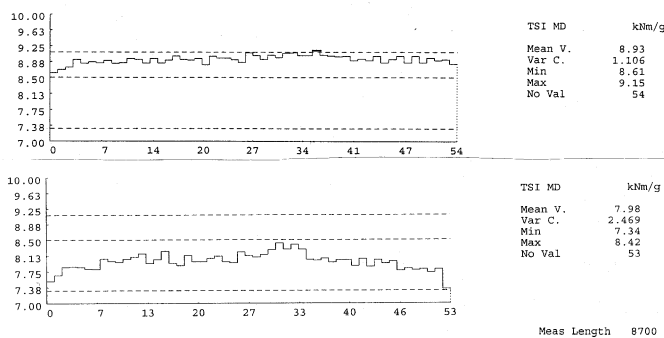


Fig.9

Gegenüber beispielsweise Liner oder Fluting, wo die Staucheigenschaften wichtig sind, können wir den TSI-Wert in Maschinenrichtung (Streifenstauchfestigkeit) und den CMT-Wert (Concora Medium Test) zueinander in Bezug bringen. Aufgrund der starken Streuung der Ergebnisse bei den herkömmlichen Meßverfahren und der Störungen bei dem eigentlichen Meßverfahren, die schwerer zu beschreiben sind, wird der Vergleich zwischen TSI-Wert in Maschinenrichtung und dem SCT-Wert in Maschinenrichtung bzw. dem CMT-Wert oft in Frage gestellt. Wir behaupten, daß der TSI-Wert bessere und genauere Informationen über das Verhalten des Papiers bei der fertigen Wellpappebox liefert als die herkömmlichen Eigenschaftswerte. Die Zukunft wird den Weg zeigen, den wir verfolgen werden, um schnellere und glaubwürdigere Informationen und eine bessere Papierqualität zu erhalten.

Zur Verbesserung des TSI-Maschinenrichtungsprofils ist es wichtig, daß die Pressenpartie korrekt eingestellt ist und die Pressenfilze in gutem Zustand sind. Alle Kundendienstingenieure der Filzlieferanten sind heute mit einem L&W Scanpro PressTuner oder JetMem zur Kontrolle der Entwässerung in der Pressenpartie ausgestattet.

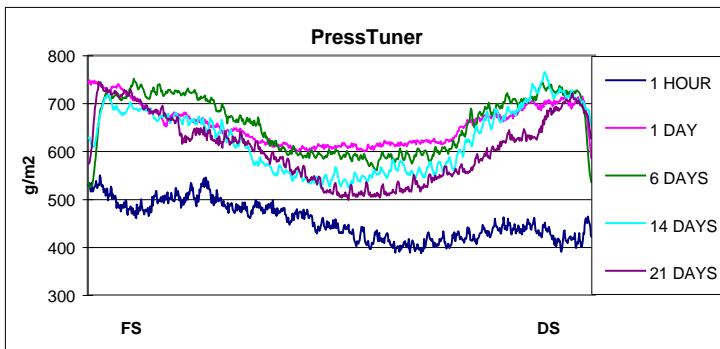


Fig.10

Die Informationen von diesen Scanpro-Meßgeräten sind wichtig zur Optimierung der Pressenpartie und des TSI-Maschinenrichtungsprofils. Das Meßgerät mißt den Wassergehalt des Filzes und liefert mit den dabei gewonnenen Informationen Aufschlüsse darüber, wie gut die Entwässerung in der Pressenpartie erfolgt, wie die Saugkästen arbeiten und ob die Pressenwalze korrekt bombiert ist. Eine weitere Hilfe, die sich zunehmender Beliebtheit erfreut, ist der L&W Scanpro FeltPerm.

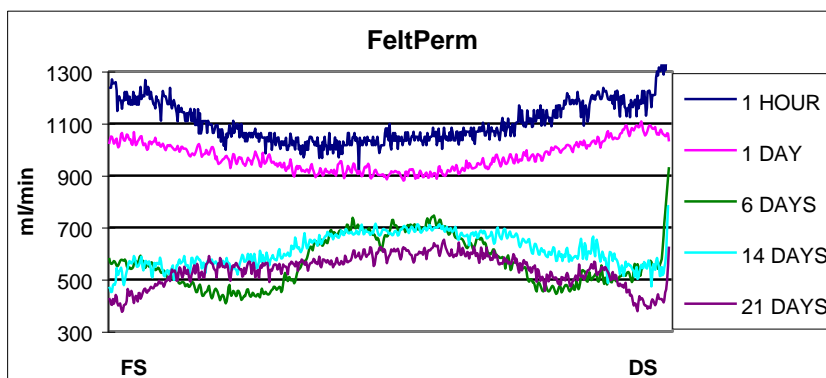


Fig.11

Dieses Meßgerät basiert auf dem Prinzip der Wasserdurchlässigkeit. Dabei wird Wasser mit bekanntem Druck durch eine Düse mit einem bestimmten Durchmesser durch den Pressenfilz gesprüht. Dadurch kann die Durchlässigkeit des Filzes berechnet werden. Des weiteren können wir auf diese Weise feststellen, ob der Filz verstopft oder in gutem Zustand ist.

Die folgenden Faktoren wirken sich auf das TSI-Maschinenrichtungsprofil aus:

- Refinermahlung
- Zug zwischen den Pressenpartien
- Bombierung der Pressenwalze
- Zustand der Saugkästen
- Entwässerung der Pressenpartie
- Zustand des Pressenfilzes
- Eingestellte Preßkraft
- TSO-Winkel

TSI in Querrichtung

Der Zugsteifigkeitsindex (TSI) in Querrichtung lässt sich mit den Anforderungen an das Papier in bezug auf die Festigkeit in Querrichtung und die Schrumpfung/Dehnung in der Maschine in direkten Zusammenhang bringen.

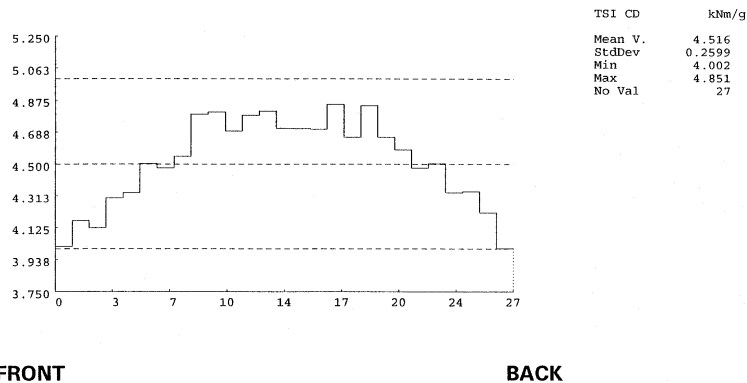


Fig.12

Ein typisches TSI-Querrichtungsprofil kann als mit der Oberseite nach unten zeigende Bahn betrachtet werden, bei der sich der höchste Punkt in der Mitte befindet und die Kanten unten angeordnet sind. Die Schwankung liegt im typischen Fall in der Größenordnung von 20 %, wenn die drei anderen Betriebsparameter - Dicke, Flächenmasse und Feuchtigkeit - in einem Schwankungsbereich von $\pm 1 - 2 \%$ gehalten werden.

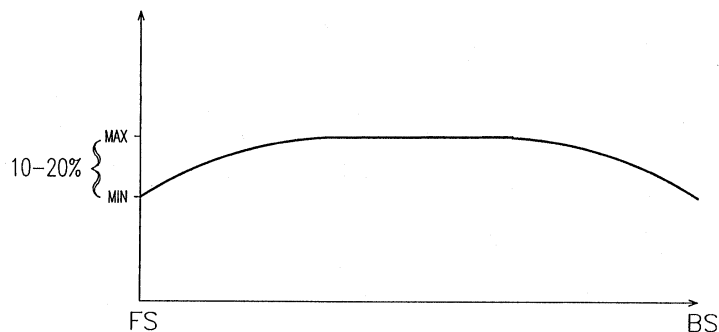


Fig.13

Wir haben jedoch bestimmte Abweichungen von diesen Werten beobachtet, insbesondere bei Zeitungsdruckpapier, wo die Schwankung in der Regel mehr als 20 % beträgt. Ein weiteres Beispiel ist Rohpapier für Etiketten, das eine gute Unterlage zum Stanzen benötigt und deshalb stark gemahlen wird. Dieses Papier besitzt eine niedrige Luftdurchlässigkeit und dadurch ein flaches TSI-Querrichtungsprofil.

Das TSI-Querrichtungsprofil lässt sich leicht mit dem SCT-Wert in Querrichtung (Streifenstauchprüfung) und dem RCT-Wert in Querrichtung (Ring Crush Test) in Bezug bringen. Bei den genannten Werten handelt es sich um zwei sehr wichtige Eigenschaften zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Kraftliner und Testliner.

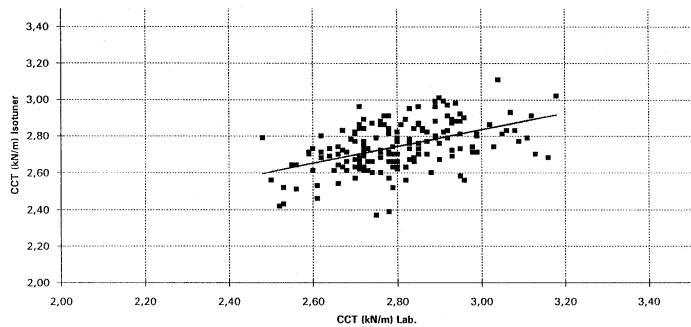


Fig.14

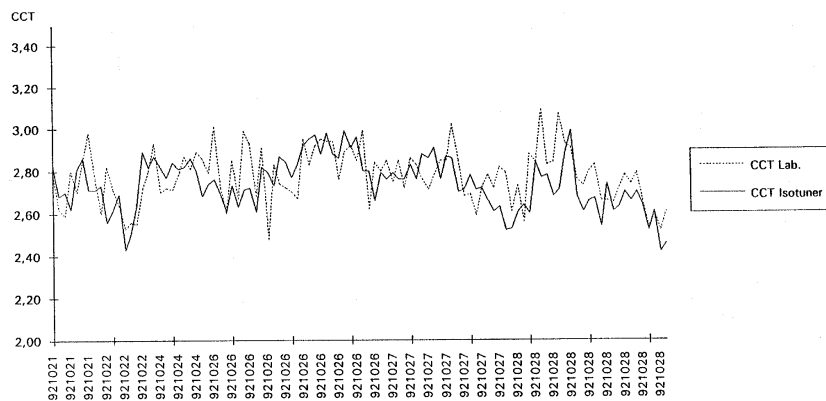


Fig.15

Einer der Faktoren, die für die Lage und das Aussehen des TSI-Querrichtungsprofils maßgeblich sind, ist der Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem Strahl und dem Sieb. Darüber hinaus hat der Mahlgrad einen Einfluß auf die Bombierung des Profils. Dies gestattet in Verbindung mit der Möglichkeit der Beeinflussung des Querzuges in der Trockenpartie die Steuerung der Schrumpfung in Querrichtung. Dies ist wichtig, weil die Schrumpfung die Form des TSI-Querrichtungsprofils beeinflusst.

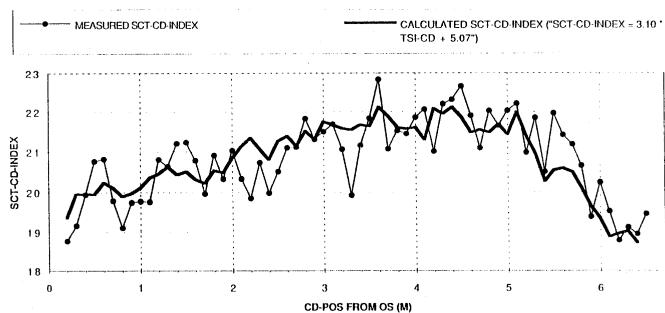


Fig.16

Die Faktoren, die einen direkten Einfluß auf das TSI-Querrichtungsprofil haben, sind:

- Trockenpartie
- Mahlgrad
- Zug in Maschinenrichtung
- Zug in Querrichtung

- Unterschied zwischen Strahl- und Siebgeschwindigkeit

TSI-Maschinen-/-Querrichtungsanisotropie

Maßgeblich für das TSI-Maschinen-/-Querrichtungsverhältnis bzw. das Zugsteifigkeitsindexverhältnis ist der Unterschied zwischen der Strahlgeschwindigkeit und der Siebgeschwindigkeit.

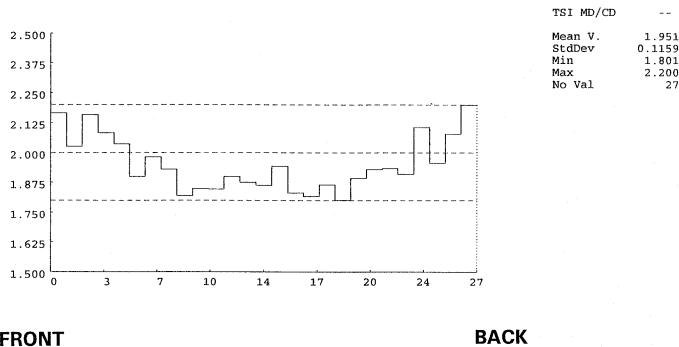


Fig.17

Daß dieser Zusammenhang besteht, ist seit langem bekannt. Es ist auch bekannt, daß man die beste Formation und die geringste Kräuselneigung im Gleichgewichtszustand erzielt, d.h. wenn der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten 0 ist. Es ist jedoch sehr schwierig, eine Papiermaschine in dieser Lage zu betreiben, und es wird eine negative oder positive Geschwindigkeitsdifferenz in der Nähe der Gleichgewichtslage angestrebt. Es sei erwähnt, daß das Strahl-/Sieb-Geschwindigkeitsverhältnis, das in der Regel vom Steuersystem der Papiermaschine angegeben wird, nicht die ganze Wahrheit sagt. Die Geschwindigkeit des Strahls wird in der Regel mit Hilfe von Druckschwankungen als Ausgangspunkt berechnet. Eine sehr zuverlässige Art und Weise der Bestimmung der Gleichgewichtslage ist die Messung der Bahnbreite, die in dieser Lage am größten ist.

Wir haben die folgenden Richtwerte für das TSI-Maschinen-/-Querrichtungsverhältnis für verschiedene Papiersorten festgestellt:

Kopier- und Laserpapier	1,8 - 2,3
Rolle zu Rolle Druckpapier	2,3 - 2,7
Zeitungsdruckpapier	3,0 - 5,5
Liner (festigkeitsbezogen)	2,0 - 2,5
Liner (berstfestigkeitsbezogen)	3,0 - 3,5
Pappe	2,0 - 2,5
Sackpapier	1,0 - 1,3

Die Schwankung dieser Werte bezieht sich auf das Maß der Schwankungen, die in den Komponentenprofilen zulässig sind. Wenn sich sowohl der TSI-Wert in Maschinenrichtung als auch der TSI-Wert in Querrichtung im oberen Bereich befinden, so ergibt sich sofort eine große Schwankung in der Anisotropie.

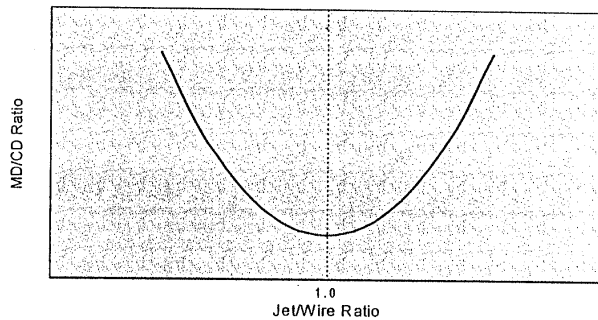


Fig.18

Es wurden Vergleiche angestellt, bei denen Werte für das TSI-Maschinen-/Querrichtungsverhältnis, das Zugfestigkeits-Maschinen-/Querrichtungsverhältnis und die Kräuselung in bezug auf den Geschwindigkeitsunterschied erzielt wurden. Unter anderem wurde dazu Kopierpapier auf einer Valmet-Papiermaschine verwendet. Die geringste Kräuselung wurde in der Gleichgewichtslage angezeigt, während die geringsten TSI- und Zugfestigkeitsverhältnisse bei negativer Geschwindigkeitsdifferenz festgestellt wurden.

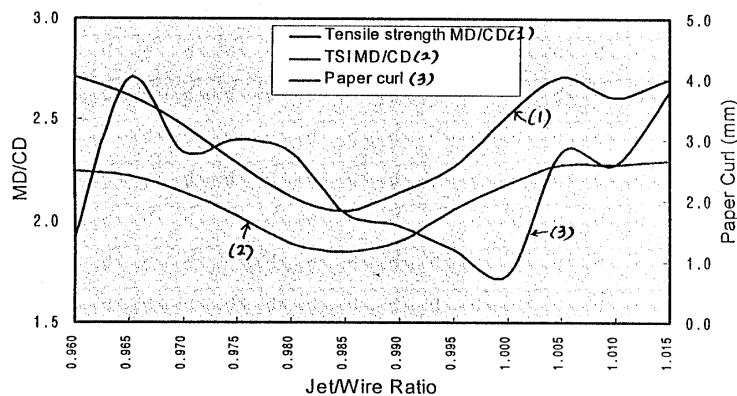


Fig.19

Verfahren zur Optimierung einer Papiermaschine mit Hilfe der Ultraschallmessung des TSO-Wertes

Zunächst ist festzustellen, ob die Maschine hinsichtlich Parallelität, Niveau, Unterdruckströmung, Geschwindigkeitsabweichungen, Stoffkonzentration, Filz- und Siebzustand usw. korrekt eingestellt ist.

Da wir mit dem Stoffauflauf beginnen wollen, sollten wir auch die verwendeten Betriebsparameter notieren. Es kann auch interessant sein, die Strahlgeschwindigkeit zu messen, da diese normalerweise über das Steuersystem der Maschine berechnet wird.

Es werden Querproben von 10 oder 20 verschiedenen Positionen in der Maschinenrolle entnommen und im TSO-Gerät geprüft. Diese relativ große Anzahl von Proben ist notwendig, um beobachten zu können, ob es eine Schwankung in Maschinenrichtung gibt, die sich auf den TSO-Winkel auswirkt.

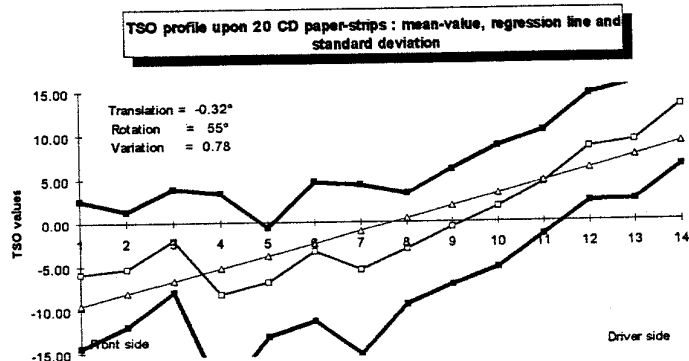


Fig.20

Nachdem die Messungen erfolgt sind, werden die Ergebnisse einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. EXCEL) übergeben, um eine Berechnung der mittleren Steigung aller Profile der Meßreihe (Translation) und des Winkels ihrer Lage zu ermöglichen. Wir können daraufhin auch feststellen, ob die Schwankung in Maschinenrichtung größer oder kleiner als die Schwankung in Querrichtung ist. Um die Häufigkeit und das Aussehen von Schwankungen in Maschinenrichtung festzustellen, muß ein Probestreifen in Maschinenrichtung entnommen werden. Dieser Streifen kann dieselbe Länge haben wie das Sieb oder länger sein als dieses.

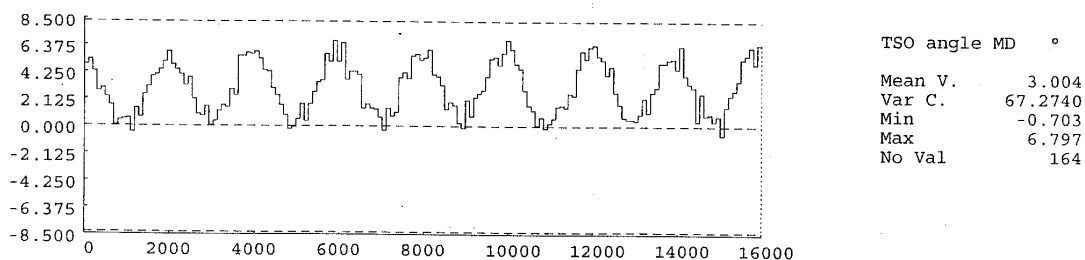


Fig.21

Nach der Prüfung mit dem TSO-Meßgerät können wir die Ergebnisse analysieren und eventuell die Ursache der Schwankung feststellen. Häufig führt eine Fehlabbastimmung des Stoffauflaufs zu einer Schwankung in Maschinenrichtung. Weitere Ursachen sind Pulsationsstöße vor dem Stoffauflauf oder Vibrationen in Walzen der Papiermaschine.

Nachdem wir festgestellt haben, welche Maßnahmen zu treffen sind, um den Stoffauflauf einzustellen, wird dieser entsprechend abgestimmt und der Test wiederholt, bis wir das bestmögliche Ergebnis erzielt haben.

Nachdem der Stoffauflauf zufriedenstellend eingestellt wurde, müßten wir uns eigentlich dem nächsten Bereich der Papiermaschine zuwenden, und zwar dem Siebtisch und der Siebpartie. Diese beiden Bereiche müssen jedoch schon vor der Abstimmung des Stoffauflaufs korrekt eingestellt werden, da die Naßpartie einen Einfluß auf das Endergebnis hat.

Als nächstes kommt die Pressenpartie an die Reihe. Wir sollten die Messungen mit dem Scanpro-Feuchtigkeitsmesser, dem L&W SCANPRO PressTuner, durchführen um festzustellen, ob alles so ist, wie es sein sollte. Darüber hinaus sollte ein L&W Scanpro

FeltPerm zur Messung der Wasserdurchlässigkeit verwendet werden, da ein verstopfter Filz nicht die erforderliche Entwässerung ermöglicht. Der Preßwalzenspalt sollte bezüglich Druckverteilung, Belastung und Bombierung überprüft werden. Darüber hinaus sollte der Zug zwischen den Preßwalzen überprüft werden, da dieser Zug sich auf die Schwankung im TSI-Maschinenrichtungsprofil auswirkt. Kontrollieren Sie darüber hinaus den Mahlgrad und die Stoffkonzentration, damit das Aussehen der Profile sich ändert.

Es ist wichtig, daß wir während der ganzen Zeit die Dicke-, Flächenmassen- und Feuchtigkeitsprofile nicht über das zulässige Maß hinaus ändern. Diese Profile sollten für jede vorgenommene Änderung überprüft werden.

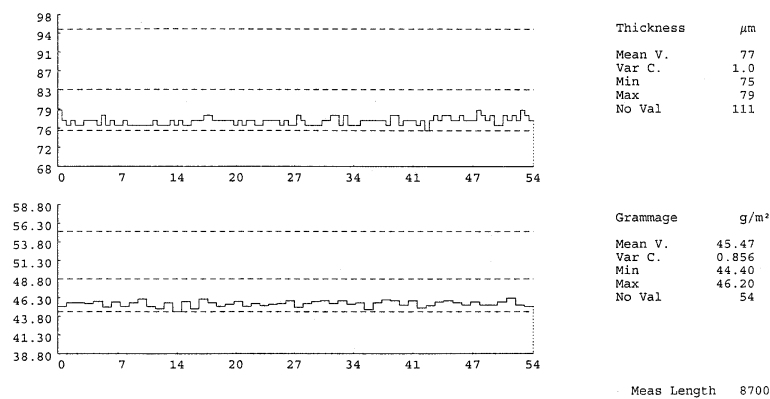


Fig.22

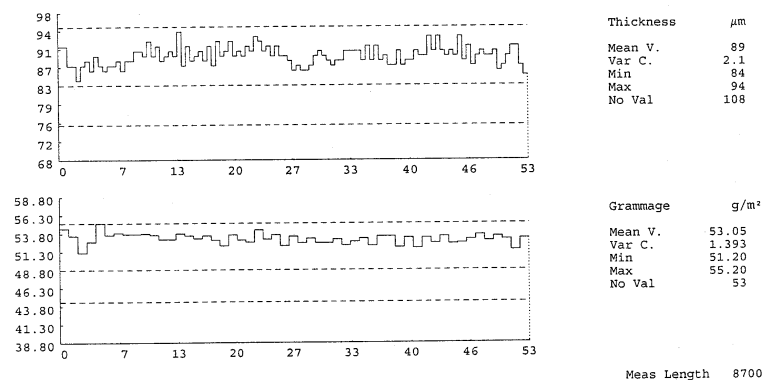


Fig.23

Wir haben Beispiele von Papiermaschinen gesehen, die in der Pressenpartie hinsichtlich der TSI-Maschinenrichtungsprofile falsch eingestellt werden, um ein schlechtes Feuchtigkeitsprofil auszugleichen. Dies zeigte sich als Höcker im TSI-Maschinenrichtungsprofil, und die Fabrik war gezwungen, die Maschine auf diese Weise zu betreiben.

Nachdem wir die Pressenpartie in den Griff bekommen haben, können wir darangehen, die Trockenpartie korrekt einzustellen. Dies ist vielleicht keine leichte Aufgabe, aber es gibt einige Möglichkeiten, wie beispielsweise die Änderung des Zuges zwischen den Trockenzylindern sowie die Temperaturregelung zwischen und in den jeweiligen

Trockenzylindern. Darüber hinaus sollte die Wirkung des Mahlgrades und auch der Geschwindigkeitsunterschied im Betrieb der Maschine nicht übersehen werden.

Fazit

Mit der vorliegenden Abhandlung wollen wir demonstrieren, welche Möglichkeiten der Einsatz moderner Meßtechniken, wie beispielsweise Ultraschall, zur Optimierung einer Papiermaschine bietet.

Bei der Herstellung von Papier handelt es sich um einen komplizierten Vorgang, zu dessen korrekter Durchführung viel Erfahrung und Wissen erforderlich ist. Wir sind zwar keine Papierhersteller, aber wir verfügen über umfassende Erfahrung mit Meßtechniken sowie mit der Beurteilung der Ergebnisse, die wir mit anderen von uns hergestellten Geräten erzielt haben.

Die Erfahrung aus den Fabriken, die sich eng an das Schema halten, das im vorliegenden Artikel bezüglich der Optimierungsmöglichkeiten beschrieben ist, hat sich als sehr wertvoll erwiesen. Das Laufverhalten hat sich beträchtlich verbessert, wodurch sich eine Verringerung des Ausschusses ergab. Die Qualitätsanforderungen wurden strenger, was wiederum zu Kosteneinsparungen führte.

Die Betrachtung der Elastizität anstatt der klassischen Festigkeitseigenschaften vermittelt uns ein besseres Bild des Laufverhaltens des Papiers und gibt uns ungeahnte Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung des Papiers.

Literatur

- (1) Polar Diagrams of Elastic Stiffness : Effect of machine variables, Gary A.Baum, (1987)
Paper Physics Conference
- (2) L'Optimisation de la Qualité sur la Machine à Papier, J.Silvy, V.Morin, A.Allée, *ATIP* 44
(6)(1990)
- (3) The influence of rolls and reels on flutter and windage, Richard J.Adams, **75**(11) (1992) ´
TAPPI Journal
- (4) Automatic measurement of sheet directionality and elastic properties by ultrasound,
H.Ekblad, *Pulp and Paper Canada*, **94**(9) (1993)
- (5) Applications of coordinated profile control, Harri Mustanen, Petri Nyberg, *Control
Systems* (1994) Stockholm
- (6) Module-Jet - erste Betriebserfahrungen mit dem neuen Stoffauflaufkonzept.
Wochenblatt für Papierfabrikation,.(12) (1994)
- (7) Field experience in prediction of corrugated board strength with ultrasonic testing,
J.Sandström, M.Titus,**78**(10) (1995) *TAPPI Journal*.
- (8) A new headbox design featuring consistency profiling decoupled from fibre orientation
response. Scott B. Pantaleo, **78** (11) (1995) *TAPPI Journal*
- (9) Effects of Wet Straining and Drying on Fibre Orientation and Elastic Stiffness Orientation.
T.R.Hess, P.H.Brodeur, **79** (5)(1996) *Journal of Pulp and Paper Science*

(10) An On-Line Control System for Simultaneous Optimisation of Basis Weight and Orientation Angle Profiles
John Shakespeare, Juha Kniivilä, Anneli Korpinen, Timo Johansson, (3)(1996) Paper Technology